

DE 102 37 901 B3

Abstract

The invention relates to an arrangement for the suppression of particle emission being inherent in the radiation of a X-ray source on the basis of a hot plasma, especially of a EUV source.

The object of the invention, to find a new possibility for debris filtering in plasma produced radiation, in particular of EUV sources, which permits a wide aperture angle of the radiation source and a reliable removing of charged and uncharged particles without substantially reducing transmission or limiting the usable solid angle of radiation, is met, according to the invention, by an arrangement for the suppression of particle emission in that a debris filter having a great number of lamellae is arranged between the plasma and a first collector optics, the lamellae having the form of flat surfaces with a pair of parallel edges, being distributed radial uniformly about a defined optical axis of the radiation source and being orthogonal arranged between an inner and an outer envelope surface, wherein the envelope surfaces being defined by the spatial position of the parallel edges of all lamellae and being rotational symmetrical and parallel to each other, so that the plasma is arched over with respect to the defined solid angle about the optical axis of the radiation source.

THIS PAGE BLANK (USPTO,



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 37 901 B3 2004.05.27

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 102 37 901.7

(22) Anmeldetag: 16.08.2002

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 27.05.2004

(51) Int Cl.⁷: **H05G 2/00**
G21K 1/02, G03F 7/20

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
XTREME technologies GmbH, 07745 Jena, DE

(74) Vertreter:
Patentanwälte Oehmke und Kollegen, 07743 Jena

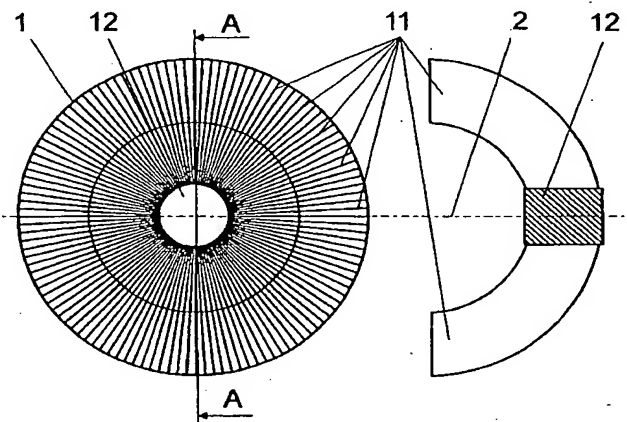
(72) Erfinder:
Schriever, Guido, Dr., 37083 Göttingen, DE;
Kleinschmidt, Jürgen, Dr., 06667 Weißenfels, DE;
Ahmad, Imtiaz, Dr., 37075 Göttingen, DE; Stamm,
Uwe, Dr., 37085 Göttingen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
US 48 37 794 A
WO 99/42 904 A1

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur Unterdrückung von Teilchenemission bei der Strahlungserzeugung einer Röntgenstrahlungsquelle**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Unterdrückung von Teilchenemission bei einer Strahlungserzeugung in Röntgenstrahlungsquellen auf Basis eines heißen Plasmas, insbesondere EUV-Strahlungsquellen.

Die Aufgabe der Erfindung, eine neue Möglichkeit zur Debrisfilterung bei plasmaerzeugter Strahlung, insbesondere für EUV-Strahlungsquellen, zu finden, die eine große Apertur der Strahlungsquelle und eine zuverlässige Rückhaltung geladener und ungeladener Teilchen gestattet, ohne in wesentlichen Sektoren des nutzbaren Strahlungs-Raumwinkels eine unzureichende Filterung und eine wesentliche Transmissionsminderung zuzulassen, wird erfindungsgemäß gelöst, indem das Debrisfilter (1) aus einer Vielzahl von Lamellen (11) besteht, wobei die Lamellen (11) die Form von im Wesentlichen ebenen Flächen mit einem Paar paralleler Kanten aufweisen, radial gleichverteilt bezüglich einer vorgegebenen optischen Achse (2) der Strahlungsquelle angeordnet sind und orthogonal zwischen einer inneren und einer äußeren Hüllfläche (13, 14; 16, 17) angeordnet sind, wobei die Hüllflächen (13, 14; 16, 17) durch die räumliche Lage der parallelen Kanten der Lamellen (11) gebildet und parallel zueinander und rotationssymmetrisch angeordnet sind, so dass das Plasma (3) für einen um die optische Achse (2) vorgewählten Raumwinkel überwölbt ist.



Beschreibung**Stand der Technik**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Unterdrückung von Teilchenemission bei einer Strahlungserzeugung in Röntgenstrahlungsquellen auf Basis eines heißen Plasmas, insbesondere EUV-Strahlungsquellen.

[0002] Weiche Röntgenstrahlung bzw. extrem ultraviolette (EUV-) Strahlung finden in vielen technischen Bereichen Anwendung. Durch die Entwicklung von hochreflektierenden dielektrischen Mehrschichtspiegeln (multi-layer dielectric mirrors), die als Optiken für diesen Spektralbereich geeignet sind, gewinnt EUV-Strahlung auch zunehmend für die nächste Generation der Halbleiter-Lithographie an Bedeutung, um die Belichtung immer kleinerer Strukturen von ULSI-Schaltkreisen (Ultra Large Scale Integration) zu ermöglichen.

[0003] Die nunmehr in den Mittelpunkt des Interesses gerückten EUV-Strahlungsquellen können zukünftig jedoch nur dann mit Erfolg eingesetzt werden, wenn sie ausreichend intensive Strahlung im Wellenlängenbereich um 13,5 nm und zugleich wenig Debris emittieren. Die Generierung von Debris, das heißt die Emission von Materie in Form von neutralen und geladenen Teilchen aus dem Strahlung emittierenden Plasma sowie aus den zur Erzeugung des Plasmas verwendeten Elementen (durch Elektrodenabbrand oder Targetzerstäubung), ist derzeit als wesentliches Problem anzusehen. Diese Debris-Emission verkürzt die Lebensdauer der Kollektroptik, die als erstes optisches Element zwischen Entstehungsort und Anwendung der EUV-Strahlung angeordnet ist, sowie der nachfolgenden Kollimator- und Abbildungsoptiken erheblich. Die Lebensdauer der Kollektroptik in lithographischen Belichtungsmaschinen soll jedoch mindestens ein Jahr betragen, die der nachfolgenden Objektive sogar mehrere Jahre. Dies lässt sich bei einer hohen Debris-Emission nicht erreichen, selbst wenn die Strahlungsquelle eine ausreichend hohe Leistung aufweist, um das sinkende Reflexionsvermögen der optischen Oberflächen in gewissem Umfang auszugleichen.

[0004] Verschiedene Typen von Debris-Filtern, die bisher bekannt geworden sind, erreichen mit ihren Eigenschaften nicht den erforderlichen Grad der Debris-Reduzierung.

[0005] Solche Filter bestehen zum Beispiel aus konzentrischen Kegeln, die als Prallbleche des Filters ankommende Debris-Teilchen absorbieren, wenn diese zuvor durch Stöße mit Gasteilchen ihre ursprünglich strahlungskonforme Ausbreitungsrichtung geändert haben. Die Prallbleche reduzieren jedoch geometrisch die Transmission der Strahlung durch „Schattenwurf“ der Kanten. Werden zur Erhöhung der Filterwirkung die Anzahl der Filterwände erhöht bzw. die Wandabstände reduziert, wird zwangsläufig das Strahlenbündel enger begrenzt und die Trans-

mission der Strahlung weiter reduziert.

[0006] Andererseits kann eine Anordnung von Blechen seitlich zur Ausbreitungsrichtung der Strahlung eine hohe Transmission garantieren.

[0007] Eine solche Filtereinrichtung für eine Röntgenstrahlungsquelle ist aus der Patentschrift US 4 837 794 bekannte. In dieser Schrift wird offenbart, zur Verhinderung des Austritts heißer Gase und anderer unerwünschter Komponenten von plasmagenerierter Röntgenstrahlung außerhalb des vom Austrittsfenster begrenzten Strahlenbündels konische Prallbleche anzuordnen sowie ein ständig erneuerbares UV-Filter und ein Magnetfeld zur Ablenkung von Primärelektronen in der Vakuumkammer vor dem Austrittsfenster der Strahlungsquelle einzusetzen.

[0008] Eine an die vorstehenden Geometrien anknüpfende Lösung ist in der Veröffentlichung WO 99/4904 A1 beschrieben. Die hier offenbarten Filter für die EUV-Lithographie bestehen aus parallelen Blechen oder Folien, die entweder vom Strahlungszentrum (Plasma) im gewünschten Raumwinkel als Fächer von ebenen Flächen oder als ineinander geschachtelte Kegelmantel- oder Pyramidenmantelflächen auseinanderlaufen. Allen diesen Gebilden ist gemeinsam, dass die Bleche – verlängert in Richtung des Plasmas – im Zentrum des emittierenden Plasmas zusammentreffen, d.h.: dass sie punktsymmetrisch zum Quellort ausgerichtet sind. Der nutzbare Raumwinkel ist jedoch durch vorstehende Anordnungen eng begrenzt. Werden die Bleche zur Vergrößerung des Raumwinkels in einem größeren Abstand angeordnet, wird die Filterwirkung reduziert. Schnelle geladene und ungeladene Teilchen werden mit dieser Anordnung nur unzureichend aus dem austretenden Strahlenbündel ausgefiltert oder es muss durch die Ineinanderschachtelung insbesondere bei den ebenflächigen Gebilden eine ungleichmäßige Abschattung in verschiedenen Raumrichtungen in Kauf genommen werden.

[0009] Weiterhin bekannt gewordene mechanische Verschlüsse (Shutter), die nach jedem Strahlungsimpuls den Strahlengang schnell verschließen, um die langsameren Teilchen zu blockieren, können aus technischen Gründen die geforderten Wiederholraten (bis zu 10 kHz) bei großem Öffnungswinkel nicht realisieren.

Aufgabenstellung

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine neue Möglichkeit zur Debris-Filterung bei plasmagenerierten Strahlungsquellen, insbesondere EUV-Strahlungsquellen, zu finden, die eine große Apertur der Strahlungsquelle und eine zuverlässige Rückhaltung geladener und ungeladener Teilchen gestattet, ohne wesentliche Sektoren des nutzbaren Strahlungs-Raumwinkels unzureichend zu filtern und ohne eine wesentliche Transmissionsminderung zu verursachen.

[0011] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einer

Anordnung zur Unterdrückung von Teilchenemission einer Strahlungsquelle auf Basis eines heißen Plasmas, insbesondere einer EUV-Strahlungsquelle, bei der zur Erzeugung des Plasmas eine Vakuumkammer mit einer Austrittsöffnung zum Abstrahlen der generierten Strahlung in einen definierten Raumwinkel sowie ein Debrisfilter zur Ausfilterung von unerwünschter Partikelemission, das im Strahlengang zwischen dem Plasma und einer ersten Kollektroptik angeordnet ist, vorhanden sind, wobei das Debrisfilter aus einer Vielzahl von in Strahlungsrichtung ausgerichteten Lamellen besteht, dadurch gelöst, dass die Lamellen bezüglich einer vorgegebenen optischen Achse der Strahlungsquelle radial ausgerichtet und gleichverteilt angeordnet sind, die Form von ebenen Flächen mit einem Paar paralleler Kanten aufweisen und orthogonal zwischen einer inneren und einer äußeren Hüllfläche angeordnet sind, wobei die Hüllflächen durch die parallelen Kanten der Lamellen parallel zueinander aufgespannt werden und rotationssymmetrisch zur optischen Achse angeordnet sind, so dass das Plasma für einen um die optische Achse vorgewählten Raumwinkel von einem Lamellenbüschel überdacht (d.h. mit einem haubenähnlichen Gebilde abgeschirmt) ist.

[0012] Zur vorteilhaften Ausführung des Lamellengebildes können die Lamellen in unterschiedlicher Weise geformt sein.

[0013] Eine zweckmäßige Form sind Trapezflächen, wobei die Lamellen von zwei Hüllflächen in Form von parallelen Kegelmantelflächen, deren Symmetrieachsen coaxial zur optischen Achse der Strahlungsquelle ausgerichtet sind, begrenzt sind.

[0014] In einer besonders vorteilhaften Ausformung sind die einzelnen Lamellen Segmente eines Kreises. Dabei werden die Lamellen von zwei einhüllenden Flächen (Hüllflächen) in Form von konzentrischen Kugelkalotten, deren Mittelpunkte dem Zentrum der Strahlungsemission zugeordnet sind, begrenzt.

[0015] Es erweist sich als zweckmäßig, die äußere Hüllfläche als äußere Begrenzungsfläche des Debrisfilters, vorzugsweise eine Kugelkalotte, mit einem Spektralfilter zu überspannen. Sie kann aber auch vorteilhaft selbst körperlich als feinmaschige Stützstruktur zur Erhöhung der mechanischen Stabilität eines folienartigen Spektralfilters ausgebildet sein.

[0016] Das Spektralfilter ist vorzugsweise mindestens eine Filterfolie aus einem der Materialien Beryllium, Zirkonium, Silizium und Siliziumnitrid (Si_3N_4). Dabei sind auch Kombinationen von unterschiedlichen Filterfolien sinnvoll.

[0017] Da für Röntgen- und insbesondere EUV-Strahlung regelmäßig Spiegeloptiken zur Strahlfokussierung eingesetzt werden, ist zwar ein möglichst großer Raumwinkel der emittierten Strahlung durch das Debrisfilter wirksam von Partikeln zu befreien und darf nicht abgeschattet werden, jedoch kann die Strahlung in unmittelbarer Umgebung der optischen Achse der Strahlungsquelle von Reflexi-

onsoptiken häufig nicht genutzt werden (z.B. bei ringförmigen Optiken, die unter streifendem Einfall reflektieren). Dadurch ist es von Vorteil, wenn ein rotationssymmetrischer Zentralbereich des Debrisfilters lichtundurchlässig gestaltet wird, der dann als Träger der Lamellen verwendet werden kann. Diese Gestaltung erweist sich auch als vorteilhaft bei der Realisierung eines drehbaren Debrisfilters.

[0018] Um die Debris-Partikel schneller in Kontakt mit den Lamellen zu bringen, ist das Debrisfilter zweckmäßig um die Symmetrieachse der Lamellenanordnung drehbar, und die Drehgeschwindigkeit wird so eingestellt, dass

$$\omega > \alpha \cdot v/L$$

gilt, wobei v die maximale Partikelgeschwindigkeit der Debris-Partikel, α der Winkelabstand und L die Länge der Lamellen sind.

[0019] Dafür kann das Debrisfilter einerseits auf einer in der Symmetrieachse massiv angeordneten Welle gelagert und diese von einem Motor angetrieben werden. Andererseits ist auch eine Gestaltung sinnvoll, bei der das Debrisfilter am größten Umfang seiner äußeren Hüllfläche gelagert und mittels eines Tangentialantriebs rotierbar ist.

[0020] Zur weiteren Verbesserung der Filterwirkung ist es zweckmäßig, dass am Debrisfilter eine Gaszufuhreinrichtung vorgesehen ist, um das Debrisfilter von einem Puffergas zu durchspülen. Dabei besteht die Gaszufuhreinrichtung aus einer ringförmigen Anordnung gleichmäßig um die Symmetrieachse des Debrisfilters angeordneter Düsen, die in Richtung der Lamellen ausgerichtet sind. Die Gasdurchströmung des Debrisfilters kann sowohl in Ausbreitungsrichtung der emittierten Strahlung (von innen) als auch entgegen der Strahlungsrichtung (von außerhalb des Debrisfilters) erfolgen.

[0021] Zur Erreichung einer maximalen Filterwirkung und einer möglichst geringen Abschattung der emittierten Strahlung haben die Lamellen in Richtung der Strahlungsausbreitung vorzugsweise eine Länge zwischen 10 mm und 40 mm und weisen eine sehr geringe Dicke auf, die zwischen 50 μm und 100 μm betragen kann. Die Länge der Lamellen in Richtung der Strahlungsausbreitung wird zweckmäßig durch den lotrechten Abstand zwischen der inneren und der äußeren Hüllfläche der Lamellen festgelegt.

[0022] Benachbarte Lamellen des erfindungsgemäßen Debrisfilters schließen vorteilhaft jeweils einen Winkel von wenigen Grad ein. Vorzugsweise haben die Lamellen zueinander einen Winkelabstand von 1° oder noch darunter.

[0023] Die Lamellen des Debrisfilters bestehen zweckmäßig aus keramischem Material, insbesondere Metalloxidkeramik.

[0024] Eine weitere Ausführung sieht metallische Lamellen für das Debrisfilter vor. Das ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Lamellen eine elektrische Zusatzfilterwirkung erreichen sollen. Dazu kön-

nen zum einen alle Lamellen des Debrisfilters auf ein gemeinsames Potential gelegt sein. Zum anderen ist es vorteilhaft, wenn die Lamellen des Debrisfilters elektrisch so geladen sind, dass benachbarte Lamellen auf unterschiedlichem Potential liegen.

[0025] Zur Erreichung einer zusätzlichen magnetischen Filterwirkung bestehen die Lamellen des Debrisfilters vorzugsweise aus einem ferromagnetischen Material.

[0026] Die Grundidee der Erfindung basiert auf der Überlegung, dass die bekannten Debrisfilter entweder den zentralen Bereich des emittierten Strahlungskegels unzureichend filtern oder aber eine unerwünschte Abschattung im nutzbaren Strahlungskegel verursachen, weil die Prallbleche nicht für alle Teile der emittierten Strahlung geeignet ausgerichtet werden können. Die Erfindung löst dieses Problem, indem eine im Wesentlichen kugelsymmetrische Lamellenstruktur mit einem in der optischen Achse der Austrittsöffnung der Strahlungsquelle liegenden Schnittpunkt der Lamellen eingesetzt wird. Der scheinbare Widerspruch, dass damit das Zentrum des Strahlungskegels stark abgeschattet wird, konnte dadurch ausgeräumt werden, dass für reale Röntgenoptiken, die Spiegeloptiken sind und nur ringförmige Strahlungsbündel erfassen, diese Abschattung überhaupt keine Nachteile mit sich bringt.

[0027] Mit der erfindungsgemäßen Anordnung ist es somit möglich, für eine im Plasma generierte Strahlung, insbesondere für EUV-Strahlungsquellen, eine effektive Debrisfilterung zu erreichen, die bei einer großen Apertur der Strahlung ohne wesentliche Minderung der Transmission eine zuverlässige Rückhaltung geladener und ungeladener Teilchen unterschiedlicher Genese gestattet.

Ausführungsbeispiel

[0028] Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Zeichnungen zeigen:

[0029] **Fig. 1:** eine Prinzipansicht der erfindungsgemäßen Anordnung in einer Draufsicht und einer Schnittdarstellung,

[0030] **Fig. 2:** eine Variante des Debrisfilters mit kegelförmigen Begrenzungsflächen,

[0031] **Fig. 3:** eine Variante des Debrisfilters mit sphärischen Begrenzungsflächen,

[0032] **Fig. 4:** eine Ausführung eines drehbaren Debrisfilters mit zentralem Antrieb,

[0033] **Fig. 5:** eine Ausführung eines drehbaren Debrisfilters mit Tangentialantrieb,

[0034] **Fig. 6:** eine Ausgestaltung des Debrisfilters mit zusätzlicher Gasdurchströmung entgegen der Strahlungsausbreitung,

[0035] **Fig. 7:** eine Ausgestaltung des Debrisfilters mit zusätzlicher Gasdurchströmung in Richtung der Strahlungsausbreitung,

[0036] **Fig. 8:** eine Gestaltung des Debrisfilters, bei dem alle Lamellen auf einheitliches Potential gelegt

sind,

[0037] **Fig. 9:** eine Beschaltung der Lamellen des Debrisfilters mit unterschiedlichen Potentialen,

[0038] **Fig. 10:** eine Ausgestaltung der Erfindung mit einer zusätzlichen Filterfolie.

[0039] Die erfindungsgemäße Anordnung enthält im Wesentlichen ein Debrisfilter 1, das in seinem Grundaufbau – wie in **Fig. 1** schematisch in einer Draufsicht (links) und einer Schnittzeichnung (rechts) dargestellt – aus einer Vielzahl von Lamellen 11, die gleichmäßig um eine Achse, die der optischen Achse 2 der Strahlungsquelle entspricht, verteilt sind und radial von dieser nach außen gerichtet sind. Um in der optischen Achse 2 eine übermäßige Dichte und Überschneidungen der Lamellen 11 zu umgehen, ist ein zentraler zylindrischer Träger 12 vorhanden, an dem die Lamellen 11 befestigt sind. Der Träger 12 kann auch beliebige andere Formen aufweisen, z.B. ein Kegel oder Kegeltumpf sein.

[0040] Die Lamellen 11 sind so gestaltet, dass sie einerseits der allseitigen Lichtemission des räumlich eng begrenzten Plasmas 3 und andererseits den beschränkten Abstrahlungsmöglichkeiten der gesamten Strahlungsquelle Rechnung tragen. Dazu wird das Plasma 3 mindestens in einem ausreichend großen Raumwinkel von Lamellen 11 umgeben, so dass sie um das Plasma 3 einen napfartigen Innenraum bilden. Die Anzahl der Lamellen 11 wird dabei vom erforderlichen Winkelabstand bestimmt, der auch vom Gesamtdurchmesser des Debrisfilters 1 abhängt. Der Winkelabstand der Lamellen 11 sollte im Bereich von wenigen Grad liegen. Bei einem Durchmesser des zentralen Trägers 12 von mehr als 20 mm ist z.B. ein Winkelabstand von 1° sinnvoll, womit sich die Anzahl der Lamellen 11 zu 360 Stück ergibt. Mit einer Lamellendicke von 100 µm ergibt sich dann ein Verhältnis von Lamelle 11 zu Lamellenzwischenraum von etwa 1:1, das sich nach außen zugunsten der Lamellenzwischenräume vergrößert.

[0041] Wegen der angestrebten Punktform des Plasmas 3 ist die am besten angepasste Form der Lamellen 11 gemäß der rechten Darstellung von **Fig. 1**, die ein Zentralschnitt entlang der Ebene A-A ist, ein Kreisringsektor.

[0042] Als Umhüllende für alle Lamellen 11 kann in diesem Fall ein geometrisches Gebilde aus zwei konzentrischen Kugelflächen mit unterschiedlichen Radien, einer dem Plasma 3 zugewandten inneren Kugelkalotte 13 und einer äußeren Kugelkalotte 14, angegeben werden. Die Differenz der Radien der Kugelkalotten 13 und 14 ergibt die in Strahlrichtung wirksame Länge L der Lamellen 11. Sie ist je nach Partikelgeschwindigkeit der Debris-Emission und in Abhängigkeit von Zusatzmaßnahmen (auf die weiter unten noch eingegangen wird) zwischen 10 mm und 40 mm anzupassen. Vorzugsweise soll eine Länge L = 30 mm angenommen werden. Die Dicke der Lamellen 11, die bei den in der rechten Darstellung von **Fig. 1** sichtbaren beiden Lamellen 11 senkrecht zur Zeichenebene verläuft, soll zwischen 50 µm und 100 µm be-

tragen, um eine möglichst geringe Transmissionsbeeinträchtigung zu erreichen.

[0043] Eine herstellungstechnisch einfachere Lamellenform ist in **Fig. 2** dargestellt. Hier handelt es sich um trapezförmige Lamellen 15, die an einem kegelschalenförmigen Träger 12 befestigt sind. Ihre Umhüllenden sind zwei parallelen Mantelflächen von koaxialen Kegelschalen, einem inneren Kegelmantel 16 und einem äußeren Kegelmantel 17.

[0044] Außerdem ist die begrenzte Austrittsöffnung 31 der zur Plasmaerzeugung vorhandenen Vakuumkammer (nicht dargestellt) schematisch dargestellt, um zu zeigen, dass in der Regel ein Debrisfilter ausreichend ist, um diese Austrittsöffnung vollständig abzudecken.

[0045] Die zunächst nachteilig erscheinende Abschattung eines zentralen Bereiches der emittierten Strahlung um die optische Achse 2 durch den lichtundurchlässigen Träger 12 erweist sich als durchaus akzeptabel, wenn man bedenkt, dass bei den für Röntgen- und insbesondere EUV-Strahlungsquellen zur Strahlfokussierung eingesetzten Reflexionsoptiken (unter streifendem Einfall oder mit dielektrischen Spiegeloptiken nach Gregory, Cassegrain oder Newton) ohnehin meist nur ein Strahlungsring zur Fokussierung aufgenommen werden kann. Dieser Sachverhalt ist in **Fig. 2** ebenfalls dargestellt und wird schematisch durch Spiegelflächen der ersten Kollektoroptyk 4 angedeutet, die axialsymmetrisch bezüglich der optischen Achse 2 angeordnet ist und einen ringförmigen Hauptspiegel 41 und einen kleinen zentralen Fangspiegel 42. Damit weist das erfindungsgemäße Debrisfilter 1 trotz der unumgänglichen Abschattung im zentralen Bereich der Lamellenstruktur (d.h. entlang der optischen Achse 2) im Sinne der erforderlichen Strahlfokussierung keinen wesentlichen Transmissionsverlust auf.

[0046] **Fig. 3** zeigt erneut die Lamellen 11 in Form von Kreisringsegmenten. Die innere Kugelkalotte 13 und äußere Kugelkalotte 14, die die Lamellen 11 in Strahlungsrichtung umhüllen, sind in diesem Fall Halbkugelschalen. Wegen der begrenzten Apertur der Vakuumkammer zur Erzeugung des Plasmas 3, die – wie in **Fig. 2** – als Austrittsöffnung 31 partiell und stilisiert dargestellt ist, verbleibt von der emittierten und debrisgefilterten Strahlung ein äußerer Raumwinkelbereich 18, dessen Strahlung die Austrittsöffnung 31 der Vakuumkammer nicht passiert, sondern in der Vakuumkammer verbleibt. Da dieser ungenutzte Strahlanteil im ringförmigen äußeren Winkelbereich 18 ebenfalls von Debris befreit ist, können dort Messeinrichtungen für die Überwachung der Qualität und Konstanz der emittierten Strahlung angeordnet werden, die damit ebenfalls vor Debrisbeschädigung geschützt sind. Für EUV-Strahlung sind das – wie in **Fig. 3** beispielhaft gezeigt – insbesondere ein Spektrograph 5 zur Messung der spektralen Zusammensetzung der emittierten Strahlung und ein Energiemonitor 6 zur Überwachung der Strahlungsleistung und deren Konstanz. Weitere Messeinrichtun-

gen können nach Belieben ringförmig in dem äußeren Raumwinkelbereich 18 ergänzend angeordnet werden.

[0047] Weiter zeigt **Fig. 3** Strahlverlauf der vom Plasma 3 emittierten Strahlung, die die Austrittsöffnung 31 der Vakuumkammer infolge der zentralen Abschattung durch den Lamellenträger 12 als Strahlungsring verlässt. Dieses ringförmige Strahlungsbündel wird nachfolgend von einer Kollektoroptyk 4 mit streifendem Einfall gebündelt. Das kann – wie in **Fig. 3** – zeigt ein Woltersches System sein, das aus einem elliptischen Reflektoring 43 und einem hyperbolischen Reflektorteil 44 zusammengesetzt ist. Auch hier ist die zentrale Abschattung ohne Relevanz für die fokussierbare EUV-Strahlung.

[0048] Zur Erhöhung der Wirksamkeit des Debrisfilters 1 sind unterschiedliche Maßnahmen möglich.

[0049] Dazu sind in den **Fig. 4** und 5 Gestaltungen zur Erzielung einer Rotation des Debrisfilters 1 vorgestellt. Durch die Rotation kommen die Debris-Partikel schneller mit einer der Lamellen 11 in Kontakt, wodurch z.B. die Länge L der Lamellen 11 geringer gewählt werden oder eine sonst zur Stoßablenkung der Debris-Partikel erforderliche Gasdurchströmung entfallen kann. Die Rotationsgeschwindigkeit wird so eingestellt, dass die Partikel während des Durchquerens der Lamellenzwischenräume des Debrisfilters 1 sicher in Kontakt mit einer der Lamellen 11 kommen und daran haften bleiben. Die Rotationsgeschwindigkeit ergibt sich dabei zu

$$\omega = \alpha \cdot v / L$$

, wobei v die Partikelgeschwindigkeit, α der Winkelabstand und L die Länge der Lamellen 11 sind.

[0050] **Fig. 4** zeigt eine Variante, bei der in den Träger 12 der Lamellen 11 eine Antriebswelle 71 für einen axialen Motor 7 integriert ist.

[0051] Eine elegantere Variante zur Rotation des Debrisfilters 1 ist in **Fig. 5** gezeigt. Hier wird das Debrisfilter 1 mit einem Tangentialantrieb 72 von außen angetrieben, so dass keine störenden Komponenten und Zuleitungen in den Innenraum des Strahlungskegels um die optische Achse 2 eingebracht werden müssen.

[0052] Eine weitere Ausgestaltung des Debrisfilters 1 besteht – wie in **Fig. 6** gezeigt – in der Ergänzung der Anordnung (z.B. nach **Fig. 2** oder 3) durch eine Gaszufuhreinrichtung 8 für ein sogenanntes Puffergas, das das Debrisfilter 1 in Richtung auf das Plasma 3 gerichtet durchströmt. Dazu weist die Gaszufuhreinrichtung 8 ringförmig um die Symmetrieachse des Debrisfilters 1 gleichmäßig verteilte Düsen 81 auf, die entgegen der Strahlungsrichtung auf das Plasma 3 ausgerichtet sind. Somit kommen die Debrispartikel schneller in Kontakt mit den Lamellen 11. Als Puffergas wird üblicherweise Helium aufgrund seiner vergleichsweise geringen Strahlungsabsorption im EUV-Wellenlängenbereich verwendet.

[0053] **Fig. 7** zeigt für den gleichen Wirkungsme-

chanismus der Stoßablenkung der Debrispartikel eine Gaszufuhreinrichtung 8, bei der die ringförmige Anordnung der Düsen 81 das Puffergas aus Richtung des Plasmas 3 in Richtung der Lamellen 11 bzw. deren Zwischenräumen (d.h. annähernd in Strahlungsausbreitungsrichtung) ausströmen lässt.

[0054] In den Fig. 8 und 9 sind als Zusatzmaßnahme die Lamellen 11 auf definierte Potentiale gelegt, um mit Hilfe elektrischer Felder geladene Debris-Teilchen besser ausfiltern zu können. Dazu genügt es zum einen, das gesamte Debrisfilter – wie in Fig. 8 gezeigt – an ein gemeinsames Potential zu legen oder – gemäß Fig. 9 – eine Anordnung gegeneinander isolierter Lamellen 11 vorzusehen, so dass benachbarte Lamellen 11 abwechselnd mit unterschiedlichem Potential in Verbindung stehen.

[0055] Ohne Zeichnung erwähnt werden soll auch noch die Fertigung der Lamellen 11 des Debrisfilters 1 aus magnetischem, insbesondere ferromagnetischem Material, um paramagnetische oder ferromagnetische Debris-Partikel einfacher ausfiltern zu können.

[0056] Zur weiteren Ausgestaltung des Debrisfilters 1 ist in Fig. 10 eine perspektivische Zeichnung gewählt worden, die auf die Darstellung der einzelnen Lamellen 11 verzichtet und nur die Hüllflächen in Form der inneren und äußeren Kugelkalotten 13 und 14 zeigt. In diesem Beispiel weist die äußere Kugelkalotte 14 eine netzartige Stützstruktur 19 auf, auf die eine zusätzliche Filterfolie 9 aufgespannt ist, die im Wesentlichen nur die gewünschte Strahlung (z.B. EUV-Strahlung im Bereich um 13,5 nm) durchlässt oder zumindest intensive unerwünschte Spektralanteile (z. B. Vakuum-UV-, UV-, und sichtbare Anteile mit Wellenlängen >20 nm) absorbiert. Beispiele für einsetzbare Filterfolien 9 sind Beryllium-Folie, Zirkonium-Folie, Silizium-Folie oder Siliziumnitrid-Folie (Si_3N_4). Dabei können die genannten Folienmaterialien auch in Kombination miteinander eingesetzt werden. Die Stützstruktur 19 kann prinzipiell beliebig – z.B. wabenartig – gestaltet sein, wenn dadurch nicht zuviel Schattenwurf zusätzlich zu dem der Lamellen 11 erzeugt wird. Es ist deshalb ratsam die Stützstruktur 19 im Wesentlichen – wie in Fig. 10 gezeigt – an die Lamellenrichtung anzupassen (oder die Lamellen 11 selbst als einen Strukturteil in Meridianrichtung zu verwenden) und dazu kreuzend in geeigneten Abständen kreisförmige Linien auf der äußeren Kugelkalotte 14 mit schnur- oder drahtförmigem Material zu belegen. Diese kreisförmigen Linien können eine Auswahl von Kleinkreisen (d.h. von Breitenkreisen bezüglich der als optische Achse 2 gewählten Symmetrieachse) der äußeren Kugelkalotte 14 sein. Es sind aber auch einander kreuzende Kreise bzw. Teilkreise (d.h. kreisförmige Linien entlang der äußeren Kugelkalotte 14 mit unterschiedlicher Richtung ihrer Orthogonalen gegenüber der optischen Achse 2) sinnvoll. Die so gestaltete Stützstruktur 19 wird dann von der Filterfolie 9 vollständig überspannt.

[0057] Es sind weitere Gestaltungsvarianten der Er-

findung möglich, ohne den Rahmen dieser Erfindung zu verlassen. Ausgegangen wurde in den vorhergehend beschriebenen Beispielen ebenen Lamellen 11, die radial um die optische Achse 2 der Strahlungsquelle gleichmäßig verteilt angeordnet sind, wobei die Lamellen 11 in Strahlungsrichtung von konzentrischen Kugelkalotten 13 und 14 oder von coaxialen Kegelmänteln 16 und 18 umhüllt werden. Dabei ist die vorgeschlagene Befestigung an einem zentralen Träger 12 jedoch nicht die einzige Lösung, sondern es sind alle ring- oder plattenförmigen Befestigungselemente, die im Wesentlichen in Radialrichtung der optischen Achse 2 der vom Plasma 3 ausgehenden Strahlung keinen nennenswerten Schatten werfen, als zur Erfindung gehörig zu verstehen. Insbesondere sollen auch beliebige käfigähnliche Gittergebilde als im Rahmen der erfindungsgemäßen Lehre liegend betrachtet werden, wenn diese ohne erfinderisches Zutun eine andere, jedoch wesentlich radial ausgedehnte Lamellenform ihrer Gitterelemente aufweisen, die vom Zentrum der Strahlerzeugung in Richtung der gewünschten Strahlausbreitung keinen nennenswerten Schatten erzeugen.

Bezugszeichenliste

1	Debrisfilter
11	Lamellen
11a, 11b	Lamellen unterschiedlichen Potentials
12	Träger
13	innere Kugelkalotte
14	äußere Kugelkalotte
15	trapezförmige Lamellen
16	innerer Kegelmantel
17	äußerer Kegelmantel
18	äußerer Raumwinkelbereich
19	Stützstruktur
2	optische Achse
3	Plasma
31	Austrittsöffnung (der Vakuumkammer)
4	Reflexionsoptik
41	Hauptspiegel
42	Fangspiegel
43	elliptischer Reflektorring
44	hyperbolischer Reflektorteil
5	Spektrograph
6	Energiemonitor
7	Antriebsmotor
71	Antriebswelle
72	Tangentialantrieb
8	Gaszufuhreinrichtung
81	Düse
9	Filterfolie

Patentansprüche

1. Anordnung zur Unterdrückung von Teilchenemission einer Strahlungsquelle auf Basis eines heißen Plasmas, insbesondere einer EUV-Strahlungsquelle, bei der zur Erzeugung des Plasmas (3) eine

Vakuumkammer mit einer Austrittsöffnung (31) zum Abstrahlen der generierten Strahlung in einen definierten Raumwinkel sowie ein Debrisfilter (1) zur Ausfilterung von unerwünschter Partikelemission, das im Strahlengang zwischen dem Plasma (3) und einer ersten Kollektoroptyk (4) angeordnet ist, vorhanden sind, wobei das Debrisfilter (1) aus einer Vielzahl von in Strahlungsrichtung ausgerichteten Lamellen (11) besteht, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lamellen (11)

- bezüglich einer vorgegebenen optischen Achse (2) der Strahlungsquelle radial ausgerichtet und gleichverteilt angeordnet sind,
- die Form von ebenen Flächen mit einem Paar paralleler Kanten aufweisen,
- orthogonal zwischen einer inneren und einer äußeren Hüllfläche (13, 14; 16, 17) angeordnet sind, wobei die Hüllflächen (13, 14; 16, 17) durch die parallelen Kanten der Lamellen (11) parallel zueinander aufgespannt werden und rotationssymmetrisch zur optischen Achse (2) angeordnet sind, so dass das Plasma (3) für einen um die optische Achse (2) vorgeählten Raumwinkel von einem Lamellenbüschel überdacht ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) Trapezflächen (15) sind.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) von zwei parallelen Kegelmantelflächen (16; 17), deren Symmetrieachsen koaxial zur optischen Achse (2) der Strahlungsquelle ausgerichtet sind, begrenzt sind.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) Kreisringsegmente sind.

5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) von zwei konzentrischen Kugelkalotten (13; 14), deren Mittelpunkte dem Zentrum der emittierten Strahlung zugeordnet sind, begrenzt sind.

6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Kugelkalotte (14) als Spektralfilter ausgebildet ist.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Kugelkalotte (14) als Stützstruktur (19) für ein folienartiges Spektralfilter (9) ausgebildet ist.

8. Anordnung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Spektralfilter mindestens eine Filterfolie (9) einem der Materialien Beryllium, Zirkonium, Silizium und Siliziumnitrid (Si_3N_4) ist.

9. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, dass ein rotationssymmetrischer zentraler Bereich des Debrisfilters (1) lichtundurchlässig ist.

10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der lichtundurchlässige zentrale Bereich als Träger (12) der Lamellen (11) ausgebildet ist.

11. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Debrisfilter (1) in dessen Symmetrieachse drehbar um die optische Achse (2) gelagert ist und die Drehgeschwindigkeit so eingestellt ist, dass

$$\omega > \alpha \cdot v/L$$

, wobei v die maximale Partikelgeschwindigkeit der Debris, α der Winkelabstand und L die Länge der Lamellen (11) sind.

12. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Debrisfilter (1) auf einer in der Symmetrieachse massiv angeordneten Antriebswelle (71) gelagert ist und diese von einem Motor (7) angetrieben wird.

13. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Debrisfilter (1) am größten Umfang seiner äußeren Hüllfläche (14; 17) gelagert und mittels eines Tangentialantriebs (72) rotierbar ist.

14. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Durchströmung der Lamellen (11) des Debrisfilters (1) mit einem Puffergas eine Gaszufuhreinrichtung (8) vorhanden ist, die eine Vielzahl von auf einem Ring (81) angeordneten Düsen (81) enthält, wobei die Düsen (81) gleichverteilt um die Symmetrieachse des Debrisfilters (1) angeordnet und in Richtung der Lamellen (11) ausgerichtet sind.

15. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge der Lamellen (11) in Richtung der Strahlungsausbreitung durch den lotrechten Abstand zwischen innerer und äußerer Hüllfläche (13, 14; 16, 17) festgelegt ist.

16. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) in Richtung der Strahlungsausbreitung eine Länge zwischen 10 mm und 40 mm aufweisen.

17. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) eine Dicke zwischen 50 μm und 100 μm aufweisen.

18. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass benachbarte Lamellen (11) jeweils einen Winkel von wenigen Grad einschließen.

19. Anordnung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet,

kennzeichnet, dass die Lamellen (11) mit einem Winkelabstand von einem Grad angeordnet sind.

20. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) des Debrisfilter (1) aus Keramik, insbesondere Metalloxidkeramik bestehen.

21. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) des Debrisfilters (1) metallisch sind.

22. Anordnung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) des Debrisfilters (1) elektrisch geladen sind, wobei alle Lamellen (11) auf ein gemeinsames Potential gelegt sind.

23. Anordnung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) des Debrisfilters (1) elektrisch geladen sind, wobei benachbarte Lamellen (11) auf unterschiedliches Potential gelegt sind.

24. Anordnung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Lamellen (11) des Debrisfilters (1) aus ferromagnetischem Material bestehen.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

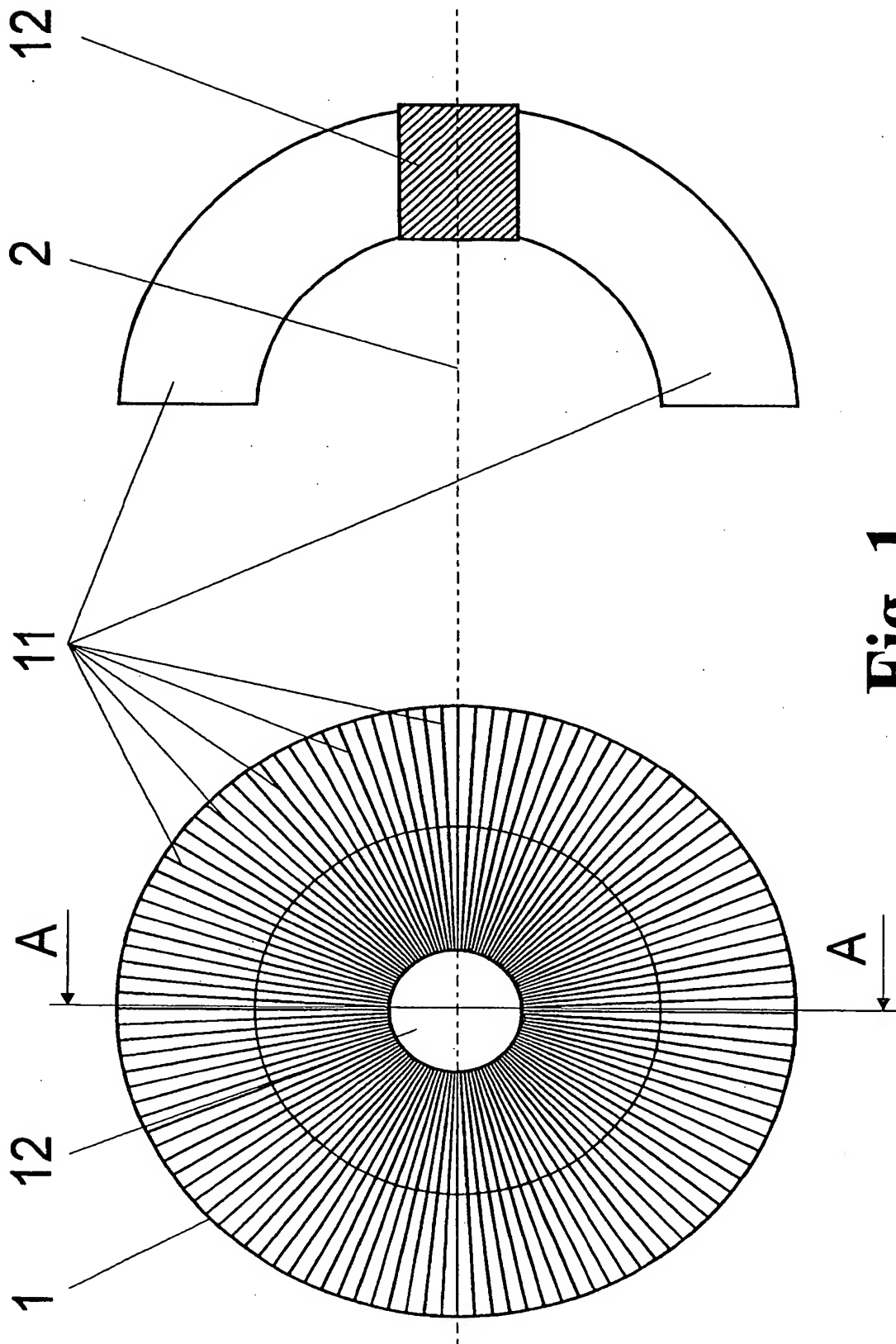


Fig. 1

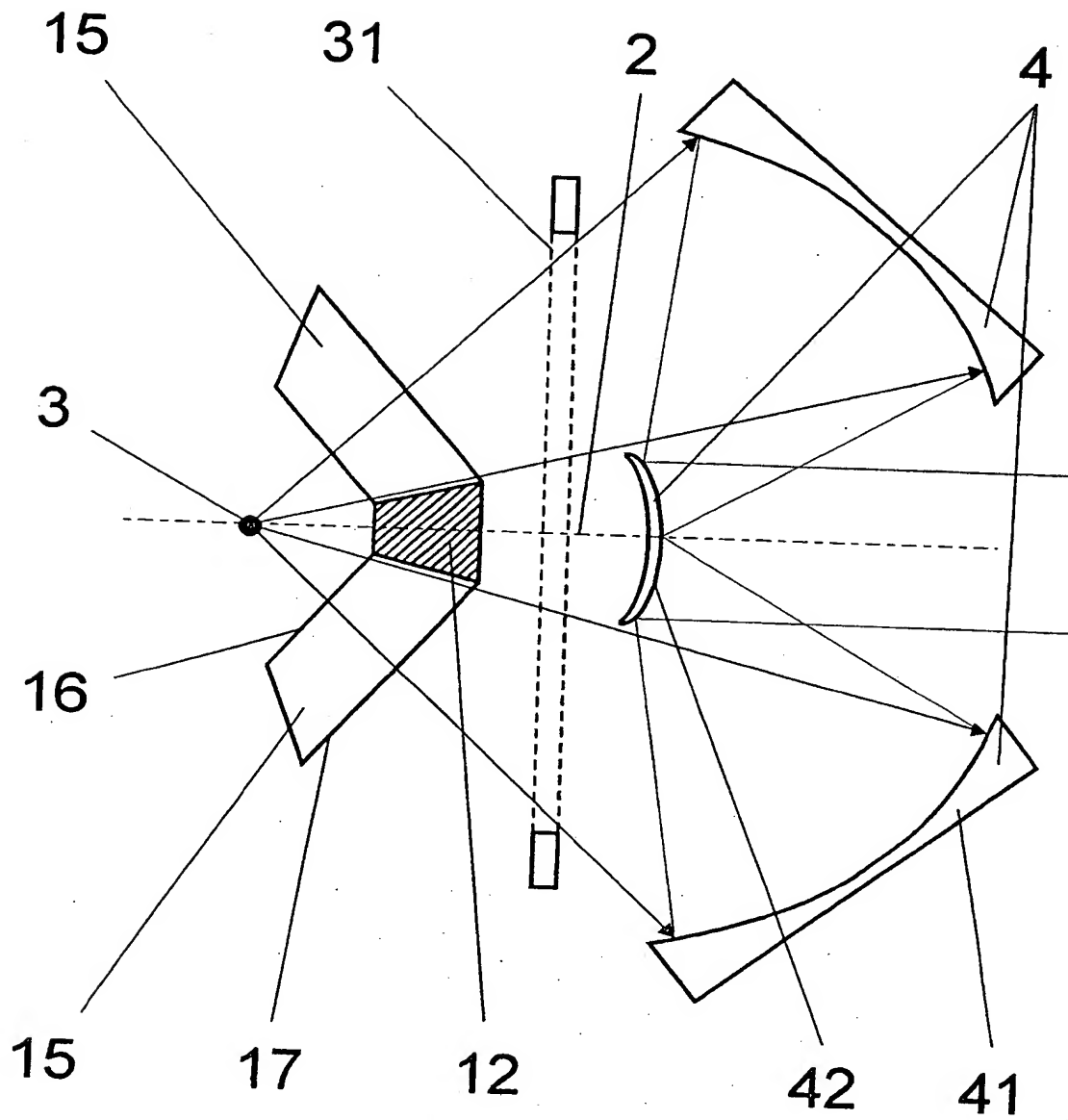
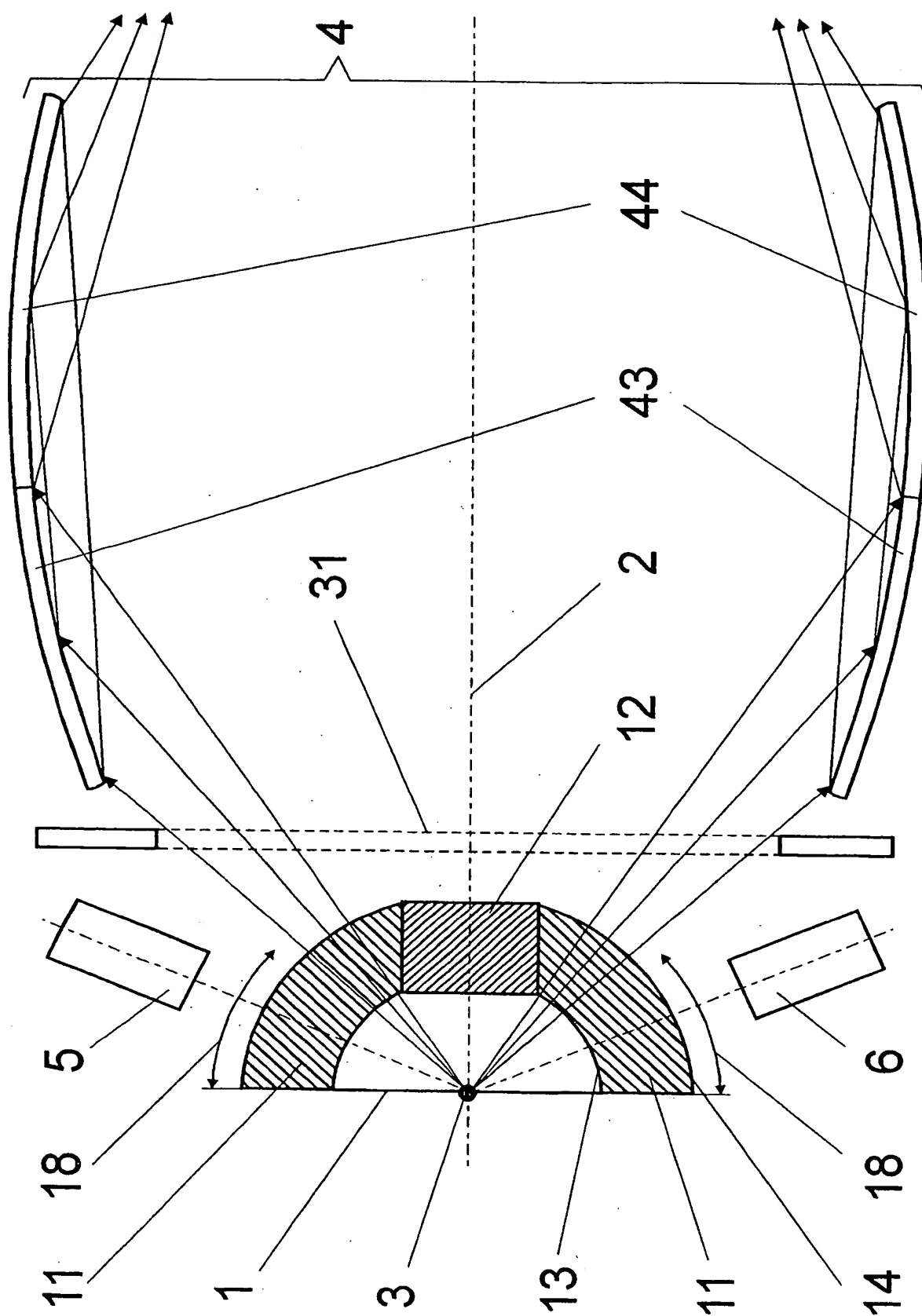


Fig. 2



3 b i

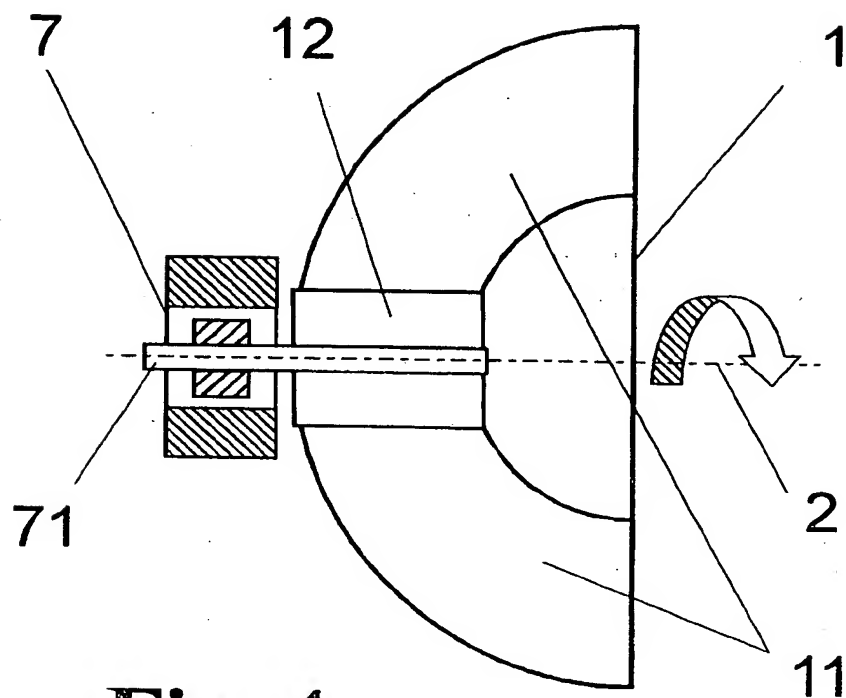


Fig. 4

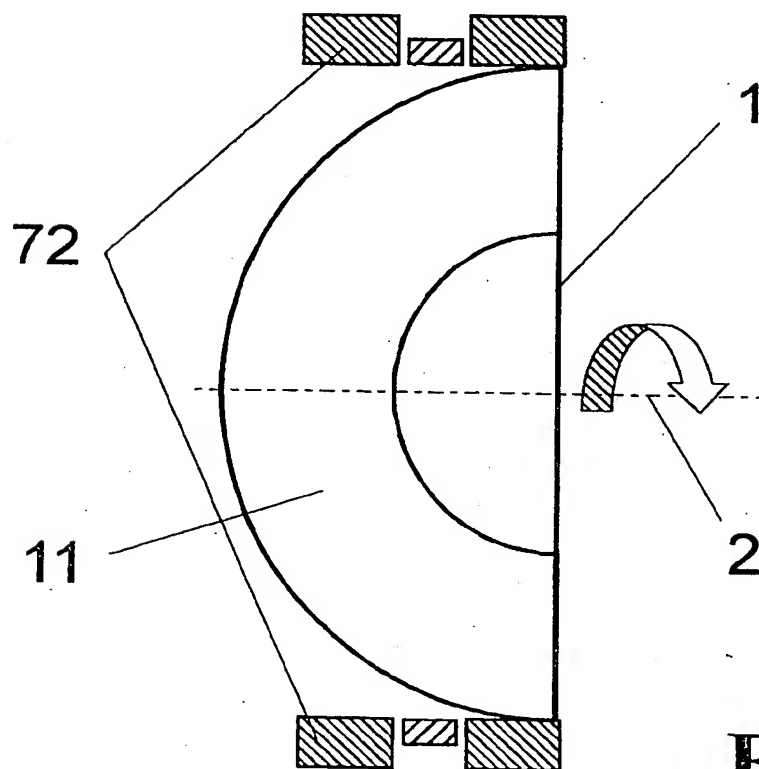


Fig. 5

Fig. 6

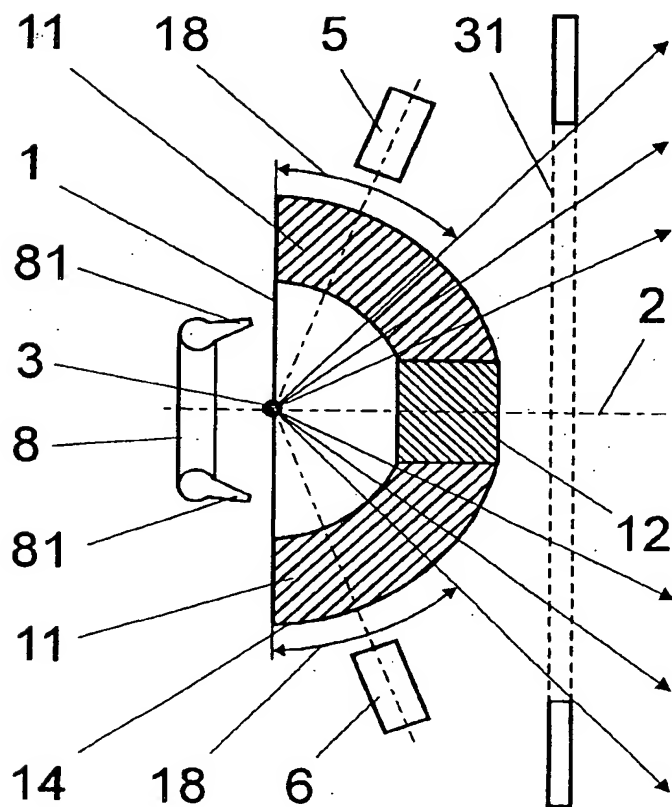
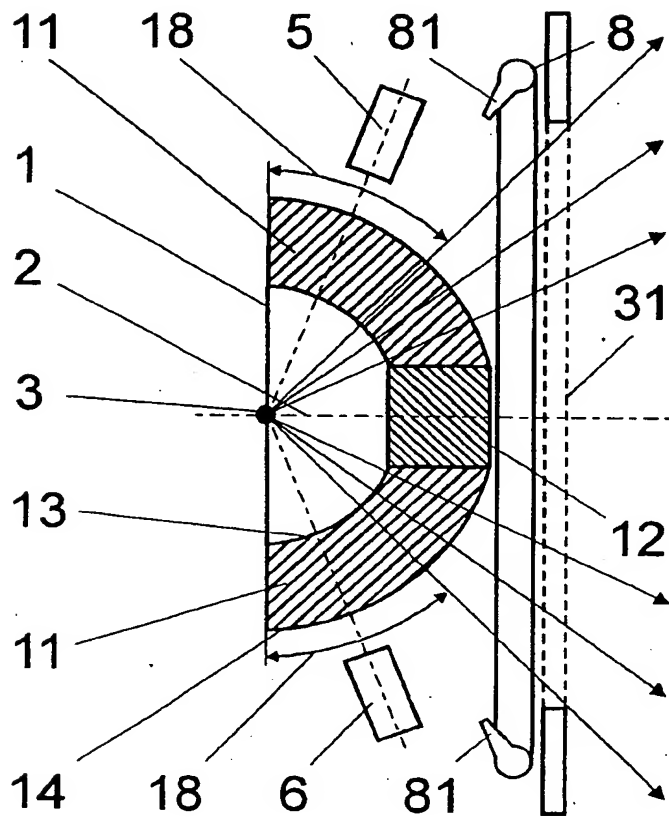


Fig. 7

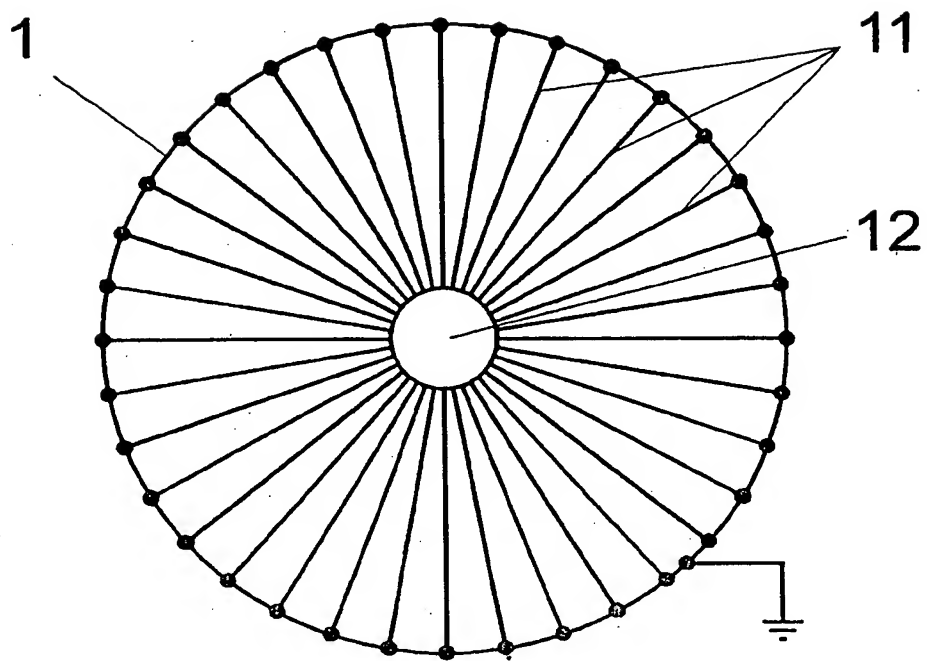


Fig. 8

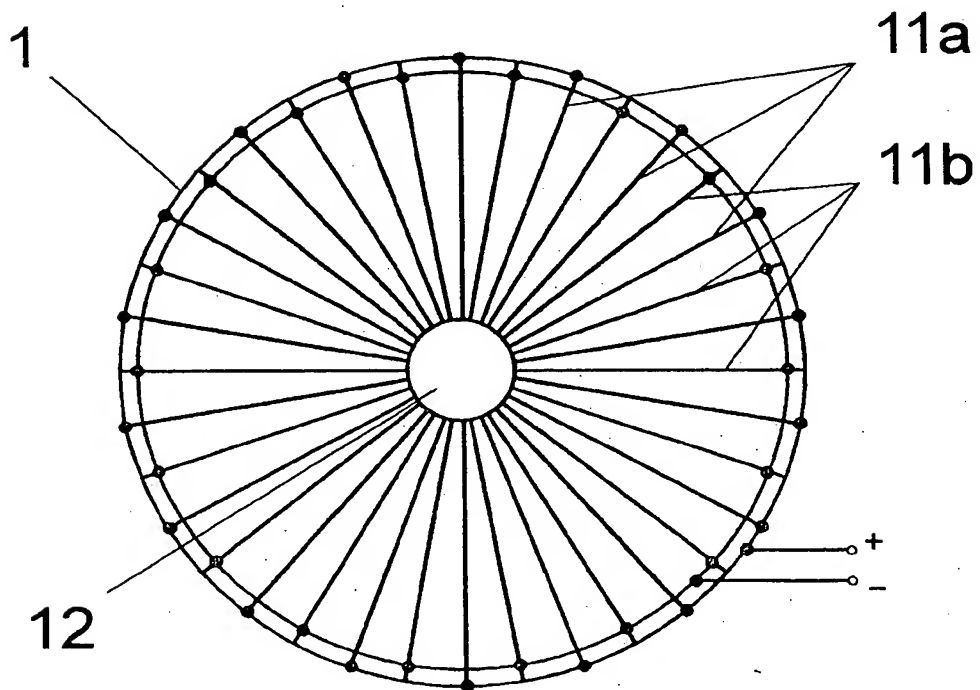


Fig. 9

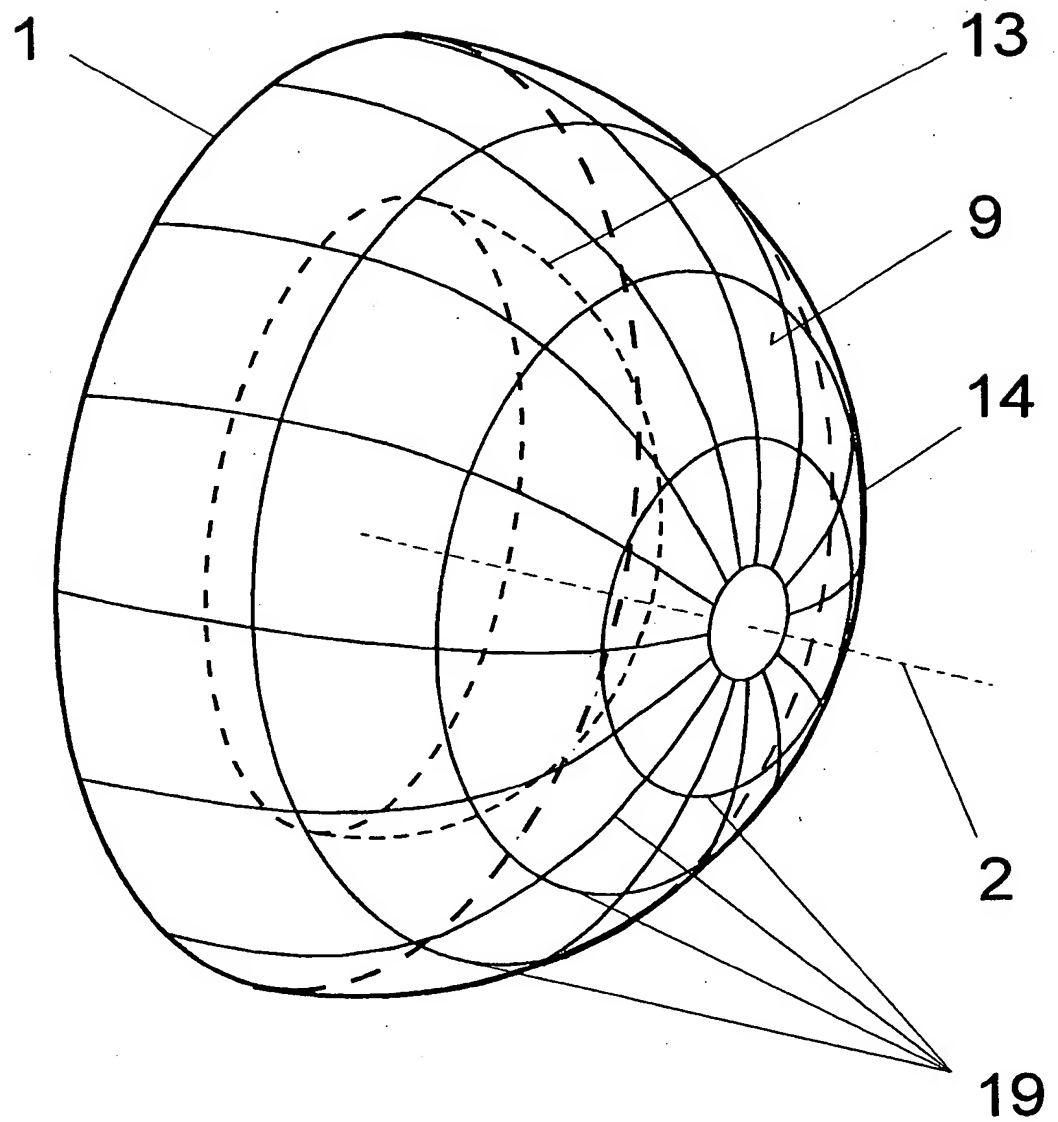


Fig. 10

THIS PAGE BLANK (USPTO)